

Cérebro e Mente: Convergências entre os modelos de Piaget e Fuster

Helena Vellinho CORSO

Todo o grande acúmulo de informações impulsionadas pela década do cérebro (1991-1999), permaneceram inacessíveis a Piaget, morto em 1980. Mesmo assim, é impressionante a convergência entre suas proposições e esses conhecimentos em neurociências. Entre os diferentes modelos neuropsicológicos, o modelo de funções executivas de Fuster oferece uma descrição perfeitamente compatível com as proposições piagetianas.

Neste ensaio teórico, apontamos para essas convergências entre o modelo piagetiano de desenvolvimento cognitivo e o modelo de Fuster. Quanto a este último, usamos como fonte o livro (não traduzido para o Português) *The Prefrontal Cortex* (2008), um trabalho de síntese, em que o resultado de anos de pesquisa é apresentado em termos de um modelo coerente e empiricamente fundamentado. Trata-se da quarta edição do livro, fato que importa muito, já que a primeira edição data de 1980, e nos 28 anos que separam essas duas edições, muito se fez em pesquisa sobre cérebro, contribuindo para a fundamentação empírica do modelo final do neuropsicólogo.

No livro em questão, Fuster examina as funções executivas, ou as funções cognitivas do córtex pré-frontal. Para tanto, ele lida com a natureza anatômica e fisiológica das redes cognitivas em geral, não só no córtex pré-frontal, mas no córtex como um todo. Segundo ele, essa abordagem compreensiva da cognição cortical é essencial porque todas as funções cognitivas do córtex pré-frontal – e, portanto, as funções executivas – são dependentes de suas interações com outros córtices, assim como com estruturas subcorticais. Essa interdependência é uma consequência direta do caráter largamente distribuído e interativo das redes corticais cognitivas. Assim, o modelo de funções executivas de Fuster envolve toda uma descrição de estrutura e funcionamento cerebral, em uma perspectiva filo e ontogenética, e é nesta descrição que podemos encontrar uma correspondência notável com o modelo piagetiano de cognição e desenvolvimento cognitivo.

O modelo baseia-se em quatro proposições gerais, que encontram nos achados da neurologia um indiscutível suporte empírico (detalhadamente apresentados ao longo de sete capítulos, envolvendo estudos de anatomia, neurotransmissores, Neuropsicologia e neuroimagem): 1. A totalidade do córtex do lobo frontal está devotada à representação e produção de ações em todos os níveis de complexidade biológica; 2. O substrato neural para a produção de qualquer ação é idêntico ao substrato para a sua representação correspondente; 3. Esse substrato está organizado hierarquicamente, com as ações mais elementares ocupando os níveis mais baixos dessa hierarquia, no córtex orbitofrontal e no córtex motor, enquanto que as ações mais complexas e abstratas correspondem ao córtex pré-frontal lateral; 4. As funções do lobo frontal são também organizadas hierarquicamente, com as funções mais simples englobadas em, e servindo às, funções mais globais.

O neuropsicólogo explica que todas as cinco funções cognitivas essenciais do cérebro humano – quais sejam, atenção, percepção, memória, inteligência e linguagem – consistem de transações neurais entre e intra redes cognitivas do cérebro, chamadas por ele de *cognits*. *Cognits* são unidades de conhecimento e memória. As funções executivas do córtex pré-frontal são variantes, componentes ou combinações dessas cinco funções cognitivas, usando essas redes ou *cognits* para servir à organização das ações dirigidas a um objetivo.

Quanto à metodologia seguida neste ensaio, selecionamos tópicos dentro da questão da cognição e, dentro de cada um deles apresentamos as posições – convergentes – de um e outro modelo. Assim, abordamos, nesta ordem, as noções de: interação, construção, desenvolvimento cognitivo e cerebral, estruturas de ação, e conhecimento e controle sobre a própria cognição.

Interação – plano psicológico e neurológico

Para Piaget (1987), o conhecimento decorre da interação entre o sujeito e o objeto. Tal interação expressa uma tendência de significado biológico – trata-se da adaptação do organismo ao seu ambiente. A adaptação cognitiva, como a sua equivalente biológica, consiste em um equilíbrio entre assimilação e acomodação. A inteligência

nada mais é do que um caso particular da adaptação do organismo ao meio, onde o organismo assimila o meio à sua estrutura ao mesmo tempo em que a acomoda ao meio.

Em trabalho anterior (Corso, 2009), verificamos que os processos ‘psicológicos’ de assimilação e acomodação definidos por Piaget podem ser explicados em termos neurocientíficos pela própria atividade neuronal – que garante as trocas com o meio. Assim, estruturas receptoras (neurônios aferentes ou sensitivos) recebem a informação do meio, a enviam a regiões específicas do córtex cerebral, processando-a (através dos neurônios associativos), o que resulta numa resposta do organismo enviada ao meio através das estruturas efectoras (neurônios eferentes ou motores). Convergingo com essa ideia, Ramozzi-Chiarottino (1972) afirma que a estruturação do sistema nervoso aparece como intermediária entre o aspecto fisiológico e o aspecto mental, já que a reação nervosa garantiria a transição entre a assimilação fisiológica e a assimilação cognitiva, isto é, permitiria a integração de objetos ou situações aos esquemas de ação e, finalmente, aos esquemas operatórios.

A própria noção de adaptação ao meio sofre evolução na obra de Piaget, que em obras posteriores ao *Nascimento da Inteligência na Criança* faz referência a processos de equilíbrio e de autorregulação. Em *Biologia e Conhecimento*, os processos cognitivos são apresentados como sendo, simultaneamente, a resultante da autorregulação orgânica e os órgãos dessa regulação no âmbito das interações com o exterior. Como esclarece Piaget (1973), em nenhum domínio (físico-químico, genético, embriológico, fisiológico, neurológico) o organismo sofre as influências do meio tais quais, mas se mostra ao contrário essencialmente ativo com relação a elas. O mesmo acontece com respeito ao comportamento. Toda a organização vital, em todos os degraus, contém autorregulações, e isso continua sendo válido no terreno do comportamento. Para Piaget, as funções cognitivas seriam os órgãos especializados da autorregulação das trocas a nível do comportamento. Como ele explica, o comportamento está exposto a todos os desequilíbrios, pois depende de um meio ilimitado e instável. A autorregulação deve ser entendida no sentido de uma interação cibernética, como sequências de compensações ativas do sujeito em resposta às perturbações exteriores e de regulação ao mesmo tempo retroativa, através de feedback, e antecipadora, que constitui um sistema permanente dessas compensações.

A interação entre sujeito/organismo e objeto/meio, encontra seu correspondente no modelo de Fuster no conceito de ciclo percepção-ação, no contexto do qual as funções executivas tomam sentido. Ele explica que as funções executivas servem a uma ampla variedade de atividades cognitivas e motoras, do movimento ocular à fala e ao raciocínio, servindo ao propósito geral de ordenar sequencialmente ações em direção a um objetivo – qualquer que seja ele. As funções executivas ocupam o topo do ciclo percepção-ação.

O ciclo percepção-ação é um princípio biológico que se aplica a todas as espécies superiores, e que regula a organização de todas as ações dirigidas para um objetivo no domínio temporal. Tal ciclo caracteriza o fluxo de informação entre o organismo e o seu ambiente em qualquer sequência deste tipo de ação, e o córtex pré-frontal é o integrador temporal supremo, no topo do ciclo.

Como explica o neuropsicólogo, em todas as formas de comportamento, do mais automático ao mais deliberado, uma ação motora não é desencadeada apenas por sinais sensoriais novos ou inesperados, mas também é regulada por feedback sensorial gerado por mudanças que a própria ação induz no ambiente externo. Assim, um padrão circular de influências está operando no comportamento: desde o meio sobre o organismo através de receptores sensoriais, desde o organismo sobre o meio através de efetores motores, desde o meio de volta sobre o organismo novamente através de receptores sensoriais, e assim por diante.

Segundo Fuster, a primeira formulação desse conceito remonta ao biólogo Uexküll (1926), que identificou esse padrão circular em muitas espécies animais. Ele teria sido chamado mais tarde de “ciclo gestalt” por Viktor von Weizsäcker (1950), um neurologista que teria reconhecido nele o princípio de indissolúvel união entre percepção e movimento no sistema nervoso. Apenas em anos mais recentes, esse princípio e seus aspectos operacionais teriam sido caracterizados como o “ciclo ação-percepção” (Arbib, 1981, 1985) ou, onde a ênfase não é tanto sobre o comportamento motor quanto sobre a cognição, simplesmente o “ciclo de percepção” (Neisser, 1976). Mas, enfatiza Fuster, independentemente do termo que se use para designá-lo, o princípio é de um inquestionável e crítico significado biológico, sendo inclusive o assunto explícito ou implícito de

uma vasta literatura que trata dos mecanismos psicofísicos e neurais da interação sensório-motora, a base da neurocibernética e da robótica.

Nos sistemas nervosos dos organismos superiores, o ciclo percepção-ação tem uma importante característica nova, qual seja o feedback interno dos efetores para os sensores. Isso significa que, ao agir sobre o meio, a capacidade do sujeito de representar a ação em curso retroalimenta as estruturas sensoriais, o que permite modular os próximos inputs sensoriais, e a partir daí, garante o controle da própria ação e planejamento da sequência dela.

Toda a estrutura conectiva do sistema nervoso central e suas funções receptoras e motoras permite reconhecer um ciclo de sensação-ação em todos os níveis das hierarquias neurais para a sensação e o movimento, da medula espinhal para cima. A cada nível de qualquer das hierarquias, sensorial ou motora, há comunicação com o meio através de um nível correspondente da outra hierarquia. Este tipo de conectividade se estende pelo córtex, onde o ciclo se torna o ciclo de percepção-ação e onde as conexões recíprocas entre as duas hierarquias corticais servem às funções cognitivas do ciclo no seu mais alto nível, na direção de sequências de ação em direção aos seus objetivos.

Construção – plano psicológico e neurológico

No sistema piagetiano, o conceito de interação e construção são interdependentes e complementares, pois a atividade assimiladora e acomodadora, que se desenrola na ação do sujeito, resulta, pelo próprio funcionamento, na formação de esquemas – estruturas novas – que se sucedem em complexidade, e que garantem uma adaptação cada vez mais perfeita ao real.

Coll (2004) argumenta que a ideia original do construtivismo teve uma primeira formulação articulada e precisa nos trabalhos de Piaget e colaboradores, sendo que esta ideia caracteriza um determinado paradigma do psiquismo humano. Segundo tal paradigma o conhecimento resulta de uma dinâmica de interação entre as características do objeto e os aportes do sujeito, sendo fruto, portanto, da atividade mental construtiva

A ideia de *construção* remete ao aspecto estrutural da inteligência. Pois, se o equilíbrio entre a assimilação e a acomodação caracteriza a adaptação ao meio, esta é indissociável da organização dos esquemas. O esquematismo da organização é inseparável da atividade assimiladora e acomodadora, cujo funcionamento explica o desenvolvimento das sucessivas estruturas. Tais estruturas cognitivas, são, de fato, orgânicas, e localizam-se no córtex cerebral. Mas elas não estão inscritas, como estruturas, desde o início do desenvolvimento, e sim resultam do funcionamento cerebral.

Em trabalho anterior (Corso, 2009), procuramos encontrar a descrição neurocientífica desse processo pelo qual o funcionamento de troca acaba resultando na construção de novas estruturas, ausentes no início do desenvolvimento. Na tentativa de encontrar o substrato neural do esquema piagetiano, chegamos ao conceito de engrama, que caracteriza uma modificação estrutural do sistema nervoso, decorrente da sinapse; esta, por sua vez, caracteriza a conexão entre neurônios decorrente da chegada de um estímulo no processo de trocas com o meio. As conexões neuronais “detonadas” pelo estímulo geram alterações moleculares ao nível do neurônio. A retenção dessas alterações é representada pelo engrama, ou memória. Piaget (Piaget; Inhelder, 1979) salientou a proximidade dos conceitos de esquema e memória.

Nesta pesquisa inicial, sobre as correspondências entre a teoria piagetiana e o conhecimento neurocientífico, encontramos conceitos correspondendo de modo um pouco genérico à ideia da construção cognitiva resultante da interação. Já no trabalho de Fuster verificamos um modelo completo, abrangendo estrutura e dinâmica cerebral, que descreve de forma detalhada a formação no córtex dessas estruturas cognitivas – redes neurais, redes cognitivas, ou “cognits”. A descrição esclarece a organização hierárquica que essas estruturas vão seguindo durante o processo de sua formação, bem como a forma como elas processam a informação, conforme se tratar de percepção ou ação. Além disso, o modelo esclarece o quanto há de integração entre essas estruturas de níveis hierárquicos diferentes.

Como no modelo piagetiano, no modelo de Fuster também se verifica a descrição da formação de estruturas próprias para o ato de conhecer - as redes neurais ou

cognits – a partir do ciclo percepção-ação. Tal ciclo vai dando lugar, pelo próprio funcionamento cerebral, e a partir de redes já presentes no início do desenvolvimento (estruturas inatas, ou memória filogenética), à formação de redes neurais progressivamente mais complexas. O modelo apresenta toda a organização hierárquica dessas redes neurais – redes cognitivas, ou, ainda, memórias – no córtex cerebral. Enquanto as redes perceptivas localizam-se no córtex posterior, as redes motoras ou executivas encontram-se no córtex frontal. Essa distribuição não é casual: nos mamíferos o eixo nervoso divide-se longitudinalmente em duas partes, cada uma dedicada a uma das duas funções que são as funções por excelência do sistema nervoso: a parte posterior para a função sensitiva, e a anterior para a ação. Nos primatas, as áreas posteriores do córtex são dedicadas à sensação, e as frontais ao movimento. No córtex cerebral humano, vemos isto aplicado também às funções cognitivas, já que o córtex occipital, parietal e temporal dão suporte à percepção e à memória perceptiva, enquanto o córtex frontal dá suporte à ação e à memória executiva ou motora.

Fuster explica que a maior parte do nosso *comportamento* está baseado na experiência, e que especialmente o comportamento deliberado requer o funcionamento apropriado do córtex cerebral, porque é nele que as representações da experiência sensorial individual e das ações comportamentais residem. Iniciando pela hierarquia posterior, o neuropsicólogo explica que a memória e o processamento perceptuais e a representação de imagens e conceitos do mundo externo estão ancorados na parte posterior do córtex, em grandes redes de neurônios interconectados. Estas redes perceptivas transcendem áreas anatômicas e modulares, e estão organizadas em uma hierarquia, de áreas interconectadas, dependendo do seu conteúdo ser sensitivo, ou ser mais complexo e abstrato. O desenvolvimento dessas hierarquias começa na base, no córtex sensitivo, e progride para cima, em direção aos córtices de associação.

Novas redes decorrem em grande medida de inputs sensoriais que ocorrem simultaneamente, mas inputs internos, a partir de memórias preexistentes, também participam da constituição dessas novas redes. São inputs vindos das redes de memória de

longo prazo que foram evocados e reativados por inputs sensoriais. Deste modo, os inputs novos vão estabelecer novos links associativos com links mais antigos, já estabelecidos. Assim, novas memórias, ou novas redes, são expansões de redes anteriores.

A formação de redes de memória no córtex, tanto em termos de filogenia, quanto de ontogenia e de conectividade, segue uma direção bastante definida do córtex sensorial primário em direção às áreas associativas do córtex¹. A formação de novas redes de memórias sobre as antigas, do córtex sensitivo primário até o córtex associativo, leva à sobreposição de redes mais amplas representando conhecimento e memória mais abstratos e mais categóricos em áreas hierarquicamente mais altas do córtex posterior. Consequentemente, memórias sensoriais unimodais ficam na base, imediatamente acima das áreas sensitivas primárias, que constituem, elas próprias, uma forma de memória: memória sensorial filogenética, ou “memória da espécie”.

A memória da espécie corresponde à estrutura física do córtex sensitivo primário, e está na base de toda a hierarquia da memória. É uma memória estrutural inata, geneticamente adquirida, que foi formada ao longo da evolução, com a adaptação do organismo ao seu ambiente. Tal memória sensorial filogenética é ensaiada durante certos períodos críticos no começo da vida e é mais tarde recuperada com cada ato perceptivo. Crescem sobre esta base, em níveis sucessivamente mais altos, todas as outras memórias perceptivas: as redes da memória unimodal e polimodal, memória episódica, memória semântica e memória conceitual. Assim, as camadas progressivamente superiores da hierarquia perceptiva acomodam progressivamente redes mais amplas que representam informação progressivamente abstratas e complexas, adquiridas através dos sentidos.

¹ As áreas primárias, também chamadas de áreas de projeção, estão diretamente relacionadas com a motricidade ou a sensibilidade. As áreas associativas são de dois tipos - de associação unimodal (envolvidas no processamento do mesmo tipo de informação que as áreas primárias às quais elas se encontram bem próximas), e de associação heteromodal ou supramodal (relacionam informações de diferentes modalidades) (Cosenza, 2004). Nos seres humanos, cerca de 75% do córtex cerebral está formado por áreas de associação; elas integram informações variadas dos córtices sensoriais e enviam a informação integrada ao córtex motor, dando início ao comportamento intencional e à expressão de pensamento lógico e refletido (Sternberg, 2008).

Fuster explica que, de modo muito parecido com o que acontece nas áreas corticais posteriores, as áreas frontais abrigam também uma hierarquia, mas aqui envolvida com a representação e o processamento da ação. No nível mais baixo desta hierarquia frontal está o córtex motor primário. Acima dele estão as áreas de associação unimodal, e acima destas estão as áreas do córtex pré-frontal. A memória motora, portanto, também é hierárquica, como a memória perceptual, e as memórias motoras são representadas de uma maneira ordenada naquela hierarquia das áreas frontais. Mais ainda, de forma similar ao modo como a percepção é processada hierarquicamente no setor cortical posterior, assim também a ação é processada hierarquicamente no setor frontal. A execução de ações motoras resulta em grande medida da recuperação de memórias motoras, isto é, de redes executivas no lobo frontal, e do seu papel na preparação do aparato motor para a sua rerepresentação.

Apesar dessas similaridades, há diferenças entre as hierarquias corticais posterior e frontal. No córtex posterior o fluxo conectivo principal parte das áreas de processamento primárias (sensitivas), no nível cortical mais baixo, e procede através das áreas associativas. No córtex frontal o fluxo ocorre na direção contrária, partindo das áreas associativas (pré-frontais), o nível cortical mais alto da hierarquia motora, e procedendo através do córtex pré-motor em direção à área motora primária.

De todo o modo, o que está claro no modelo de Fuster é que, em ambas as hierarquias, verifica-se nos níveis mais baixos redes que são inatas (memória filogenética) e, ao contrário, nos níveis mais elevados, as redes são formadas por modulação sináptica associativa através da experiência de vida.

Desenvolvimento cognitivo e cerebral - caráter integrativo da sucessão de estruturas

Cada estágio do desenvolvimento cognitivo é descrito por Piaget como sendo construído através da diferenciação, integração e síntese de novas estruturas a partir das estruturas anteriores, o que torna a sequência dos estágios cognitivos logicamente necessária. Assim, os estágios seguem uma ordem constante, assim como possuem um caráter integrativo: estruturas mais baixas permanecem contidas nas estruturas de nível superior.

Para Piaget (1973), três características definem os estágios ou fases do desenvolvimento cognitivo. Em primeiro lugar, a ordem de sucessão dos comportamentos é constante, independentemente de acelerações ou retardamentos que modificam as idades cronológicas médias, em função de experiências particulares. Em segundo lugar, cada fase é definida por uma estrutura de conjunto, que caracteriza todos os comportamentos novos da fase. Em terceiro lugar, o processo de sucessão desses estágios tem uma natureza integrativa, isto é, cada nova estrutura é preparada pela estrutura precedente, ao mesmo tempo em que permanece contida na estrutura seguinte.

O caráter integrativo do desenvolvimento das estruturas cognitivas descrito por Piaget encontra uma fundamentação incontestável na neurobiologia, o que fica claro na descrição de Fuster acerca do modo como cada nível de ambas as hierarquias – posterior e frontal – estão totalmente imbricados uns nos outros.

Como explica Fuster, nas duas hierarquias representações simples ficam na base, enquanto as mais abstratas ocupam o topo. Entretanto, também em ambas hierarquias, a sobreposição de categorias cognitivas não pode ser tomada muito rigidamente, nem em termos estruturais, nem em termos funcionais. Na realidade não existe separação clara entre as categorias dos cognits, pois suas redes são misturadas. Elas contêm populações neurais constituintes de diferentes níveis hierárquicos. Isto é em parte compreensível se considerarmos como as redes cognitivas são formadas, da base para cima. Em qualquer nível, as redes mantêm laços com o nível abaixo, redes mais simples que contribuíram para a sua formação e permanecem encaixadas nelas. Como consequência, não há memória pura de nenhuma categoria. Memória semântica, por exemplo, é feita a partir da base para cima por instâncias de experiências de um nível mais baixo. (por exemplo, episódico); as memórias do nível mais baixo se tornam parte inextricável das redes superiores.

Ainda acerca da integração entre as diferentes camadas das hierarquias frontal e posterior, o neuropsicólogo explica que a própria reativação dos cognits de um nível inferior servirá como o acesso associativo para a recuperação dos cognits de um nível superior. De forma similar, na hierarquia executiva, movimentos simples e a suas repre-

sentações contribuirão para a formação de representações de ações motoras maiores (superiores). Eles também se tornarão parte integral de sua atuação. Portanto, se a organização hierárquica das redes de memória é um princípio geral sólido com uma base neurológica sólida, também fica evidente que tanto no conteúdo representacional como funcional dessas redes (perceptivas e executivas) há um grau considerável de interação entre camadas hierárquicas.

Estruturas de ação – esquemas e cognits

O modelo de Fuster define as funções executivas como funções que servem a uma ampla variedade de atividades cognitivas e motoras, do movimento ocular à fala e ao raciocínio. Em todas as instâncias, elas servem ao propósito geral de ordenar sequencialmente ações para alcançar um objetivo. Todas as ações dirigidas para um fim requerem as funções integrativas do córtex pré-frontal.

Nem todos os construtos da ação, mesmo que longos e complexos, estão representados no córtex pré-frontal, como é o caso das ações de sequência automática ou bem ensaiadas. As áreas pré-frontais estão envolvidas em ações sequenciadas apenas durante o estágio de aprendizado da tarefa. Depois é como se o engrama da tarefa, a memória procedural dela, tivesse migrado para áreas mais baixas da hierarquia frontal. Mas as variantes novas de estruturas de ação antigas são também representadas no córtex pré-frontal.

Segundo Fuster, a novidade de uma estrutura pode ser determinada pela necessidade de adaptação às mudanças do ambiente, ou pode ter sido gerada pelo indivíduo, a partir da criação de uma imagem mental de um novo programa de ação, um novo plano. Mas o que queremos chamar atenção aqui é para como Fuster define essa estrutura da ação. Segundo ele, ela é uma gestalt temporal que, como as gestalts espaciais, segue a lei da proximidade – elementos contíguos ou próximos são tratados como pertencendo à mesma configuração; elementos distantes não. No caso da gestalt da ação, a coesão é garantida também pelo objetivo desta ação, além da proximidade temporal dos atos do indivíduo. Além disso a gestalt temporal é um composto de perceptos sensoriais e ações motoras. Nas gestalts, espaciais ou temporais, o significado encontra-se não nas suas partes componentes, mas nas relações associativas das partes entre si, o

que, no caso de gestalts temporais, incluem ordem das ações e também o *timing*, ou a habilidade de execução no tempo certo. Importante destacar que, ao aproximar a estrutura da ação do conceito de gestalt, isto parece se dar em função da noção de totalidade presente no conceito. Fuster faz uma ressalva importante ao tomar emprestada a noção de gestalt, o que o aproxima novamente da posição piagetiana acerca do conhecimento e do desenvolvimento cognitivo. Ele esclarece que a sua posição diverge da psicologia da Gestalt no sentido de não concordar com o inatismo que prejudica a teoria gestáltica clássica. Segundo ele, o organismo não experimenta meramente gestalts temporais; ele as constrói sob forma de comportamento, com a assistência fundamental do córtex pré-frontal.

Fuster afirma que a representação desta gestalt da ação é o equivalente do que muitos escritores chamam de esquema. O esquema significa o plano ou programa de ação. Não representa todos os seus elementos e passos, mas em vez disso ele é um resumo abstraído daquele plano ou programa, que pode conter alguns dos seus componentes e também contém, de alguma maneira, seu objetivo. O neuropsicólogo diz, literalmente, que o esquema é quase idêntico ao esquema de Piaget, citando também outros psicólogos cognitivos que estabeleceram conceitos para expressar esquemas mentais ou memórias que resumem ações complexas (Neisser, Grafman, Schank e Abelson). Para ele esquemas novos, planos e programas são representados em cognits executivos, isto é, em redes de larga escala do córtex pré-motor e pré-frontal que atravessam diversos domínios de ação. Além disso, essas representações frontais são a pré-condição para a sua execução, já que eles existem justamente para guiar ações na direção dos seus objetivos. É o córtex pré-frontal que realiza o monitoramento do comportamento, no sentido de verificar se ele está coerente com todo o plano de sequências de ação, e com o objetivo final.

Conhecimento e controle sobre a própria cognição – abstração refletidora e funções executivas

Para Piaget (1973), a construção das estruturas cognitivas caracteriza um processo de abstração refletidora, pois procede por abstrações sucessivas, processo que pode ser analisado tanto do ponto de vista formal quanto psicológico. Sob o ponto de vista formal ou lógico, o desenvolvimento de uma estrutura a partir da abstração de

elementos retirados da estrutura anterior, que serão recombinados num novo plano. A nova estrutura se faz a partir da anterior, ao mesmo tempo que a engloba. Do ponto de vista psicológico, este processo de abstração é característico do pensamento lógico matemático e se faz sobre as ações ou as operações prévias do próprio sujeito com seus resultados. Trata-se de um processo de reconstrução, num plano superior, do que foi transferido ou retirado de um plano inferior, permitindo a integração da estrutura precedente numa mais rica e de nível superior.

A abstração refletidora permite compreender a presença simultânea da novidade e da continuidade no processo de construção do conhecimento. O processo genético é a um só tempo construtivo e reflexivo. Há construção, já que cada nova estrutura amplia e generaliza a estrutura precedente, por combinação com os elementos próprios do novo plano de reflexão, o que se constitui em novidade. Ao mesmo tempo há continuidade, já que no processo de reflexionamento dá-se a reconstrução da estrutura precedente. E este processo construtivo e reflexivo pode ser recuado indefinidamente pois é próprio de toda a organização viva, o que atesta a continuidade afirmada por Piaget entre o orgânico e o mental.

A função autorreguladora dos mecanismos cognitivos conduz às mais estáveis formas de equilíbrio conhecidas pelo ser vivo, quais sejam as das estruturas da inteligência, cujas operações lógico-matemáticas se impõem necessariamente. O ápice da construção cognitiva na descrição piagetiana é o estágio das operações formais, que provê o indivíduo com a habilidade de raciocinar sobre conceitos abstratos, ou sobre hipóteses, graças, justamente, à inversão de sentido entre o real e o possível, garantido pela passagem da estrutura das operações concretas à estrutura das operações formais. São também estas últimas que permitem o sistemático planejamento do futuro.

Na descrição de Fuster, as funções executivas representam o ápice do ciclo percepção-ação e envolvem claramente, embora não só, o córtex pré-frontal. Comportamentos novos e elaborados requerem operações levadas a cabo principalmente pelo córtex pré-frontal: é preciso prestar atenção ao ambiente, em busca de pistas significativas, é preciso realizar movimentos intencionais e elaborados, é preciso monitorar e atualizar

informações relevantes e checar essas informações junto ao esquema de ação e seu objetivo. Essas operações são as funções executivas, que, segundo Fuster, são basicamente três. Este é um número cardinal: não há uma ordem entre as funções, e elas aparecem completamente inter-relacionadas, de modo que a descrição separada é feita apenas por razões operacionais. A atenção executiva, primeira das funções executivas nomeadas pelo autor, adota três formas complementares: preparação, memória de trabalho, e controle da interferência. A segunda função é o planejamento, e a terceira é a tomada de decisão. Tais funções não correspondem a localizações anatômicas, pois são funções integrativas – integram inputs de muitas regiões corticais e subcorticais, e, portanto, são distribuídas na corticalidade. Mesmo assim, há um foco de domínio dentro do córtex pré-frontal.

Consideremos de forma breve cada uma dessas funções. A atenção executiva corresponde a uma ativação neural geral, de origem largamente subcortical, que o autor caracteriza como um *drive* básico. Drive, diz Fuster, é a fonte de alerta ou atenção geral, e de interesse no mundo e no self, que determina a iniciativa e o vigor com os quais o organismo desempenha ações comportamentais. A atenção executiva possui três aspectos. O primeiro deles é *set*, ou preparação para a ação, que envolve a coordenação antecipadora de ações para o atingimento do objetivo principal ou dos sub-objetivos necessários para o atingimento do principal objetivo. A preparação começa nos níveis mais altos da hierarquia pré-frontal, que codifica regra, planos e objetivos de longo prazo, e então progride através de níveis mais baixos, pré-motores e motores que codificam ações mais concretas para o atingimento de objetivos parciais em direção ao objetivo principal. A memória de trabalho, o segundo aspecto da função executiva, é um tipo de atenção focada sobre uma representação interna, ou sobre uma rede cognitiva executiva para o processamento de uma ação prospectiva. O controle da interferência, terceiro aspecto da atenção executiva, protege o que está no foco de interferências vindas da percepção ou da memória, e que não é pertinente à tarefa.

O planejamento, como as outras funções executivas, tem uma perspectiva de futuro, mas eles estão ancorados em memória executiva já estabelecida. Um novo plano, explica Fuster, é um rearranjo desta memória com um novo conjunto de objetivos, uma nova ordem um novo cronograma, e um novo e recente objetivo. A tomada de decisão,

terceira função executiva, descrita por ele, é definida como a formulação de um curso de ação com a intenção de executá-la e envolve a análise e avaliação de uma variedade de itens vindos da percepção sensorial, memória e motivação, sendo que a maioria desses itens, ou todos eles, podem ser inconscientes.

O desenvolvimento pleno do córtex pré-frontal – última etapa do desenvolvimento neurológico (Ohlweiller, 2006) – e foco principal das funções executivas, corresponde, no plano psicológico, ao desenvolvimento da estrutura operatória de nível formal. Eis como Fuster descreve o que seria o ápice da evolução – tanto filogenética quanto ontogenética – o máximo de desenvolvimento que o ciclo percepção-ação permite. Para o neuropsicólogo, o desenvolvimento evolucionário de áreas cada vez mais altas de associação, tanto no córtex posterior quanto no anterior, reflete a abertura de possibilidades cada vez maiores para a abstração (simbolismo) e para as ações com objetivos, elaboradas e deliberadas. Essas possibilidades atingem um máximo (que é, na verdade, infinito) nos humanos, em que o desenvolvimento dessas duas regiões associativas grandes, uma posterior e outra pré-frontal, provê o substrato cortical para o raciocínio lógico e para a compreensão e a expressão da linguagem. A expansão evolucionária de possibilidades se estende no domínio temporal, o que fica evidente quando se considera as funções integrativas temporais do córtex pré-frontal que derivam de suas capacidades representacionais - isto é, da riqueza de suas redes cognitivas, seus cognits executivos. E parte desta riqueza, pondera o neuropsicólogo, repousa na capacidade de representar o futuro.

Em termos funcionais, afirma Fuster, nada distingue tanto o córtex pré-frontal de outros córtices (e especialmente o córtex pré-frontal dos humanos em relação aos córtices dos outros animais), quanto a sua capacidade de representar o futuro e preparar o organismo para ele. Pelo menos metade das funções pré-frontais ‘olham para o futuro’; implícita ou explicitamente o futuro está na maioria daquelas funções – preparação, planejamento, previsão de valor, ação corretiva, etc. Para ele, seria ainda mais correto dizer que todas as funções identificadas do córtex pré-frontal têm uma perspectiva de passado e uma perspectiva de futuro. Todas aquelas funções estão baseadas em representações do passado com vistas a uma ação a ser realizada em algum momento no futuro, não importa se próximo ou remoto. É essa perspectiva de futuro que confere teleologia às

funções pré-frontais. Num desvio em relação à metodologia científica convencional, é praticamente impossível compreender causalidade na fisiologia frontal sem o raciocínio teleológico. Tal raciocínio recruta redes cognitivas representando ações que irão acontecer ou que poderiam acontecer – em outras palavras, cognits prospectivos ou potenciais.

Considerações finais

Como enfatizamos em nosso primeiro trabalho que buscou relacionar a teoria piagetiana com conhecimentos neurocientíficos (Corso, 2009), é preciso considerar o comportamento, a cognição e a base neural da atividade mental humana como níveis de análise relativamente independentes (Mansur & Radanovic, 2004). Mesmo assim, é sempre de interesse buscar as relações entre esses aspectos. Tais relações podem enriquecer reciprocamente a compreensão sobre cada um desses níveis. Nesse sentido, parece-nos procedente o estabelecimento de aproximações entre o modelo piagetiano e o de Fuster.

É inegável o envolvimento do cérebro no comportamento, mas isso não deve ser visto num sentido reducionista e determinista, como se todo o comportamento fosse determinado pelo cérebro. Reconhecer o papel do sistema nervoso nos processos de comportamento e aprendizagem não corresponde a entender essas bases neurológicas como inatas, e emergindo de acordo com um cronograma maturacional. Os modelos dentro da Neuropsicologia há muito superaram essa visão de causalidade unidirecional do cérebro para o comportamento. Pelo contrário, como explica Pennington (2009), a relação entre cérebro e comportamento é uma via de mão dupla. O chamado Co- construtivismo Biocultural, proposto por alguns neurocientistas (Li, 2006; Nelson, 2006), enfatiza o envolvimento da experiência e do ambiente no desenvolvimento cerebral. Fica claro que, dentro de modelos de desenvolvimento interacionistas ou construtivistas – como os propostos por Piaget e Fuster – levar em conta as bases neurológicas do conhecimento não significa desconsiderar ou diminuir o papel do meio – o que inclui a escola – naquele processo.

Referências

- COSENZA, Ramon M. Bases estruturais do sistema nervoso. In: ANDRADE, Vivian Maria; SANTOS, Flavia Heloísa; BUENO, Orlando (Org.). **Neuropsicologia Hoje**. São Paulo: Artes Médicas, 2004, p. 37-59.
- CORSO, Helena Vellinho. Funções cognitivas – convergências entre neurociências e epistemologia genética. Porto Alegre, Revista Educação e Realidade, 34(3): 225-246. 2009.
- FUSTER, Joaquín M. **The prefrontal cortex** (4th ed.). London: Academic Press, 2008.
- STERNBERG, Robert. J. **Psicologia Cognitiva**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- OHLWEILER, Lygia. Fisiologia e neuroquímica da aprendizagem. In: ROTTA, Newra; OHLWEILER, Lygia; RIESGO, Rudimar. **Transtornos da aprendizagem: abordagem neurobiológica e multidisciplinar**. Porto Alegre: Artmed, 2006, p. 43-57.
- PIAGET, Jean. **O nascimento da inteligência na criança**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.
- PIAGET, Jean. **Biologia e Conhecimento**. Petrópolis: Vozes, 1973.
- RAMOZZI-CHIAROTTINO, Z. **Piaget: modelo e estrutura**. São Paulo: Livraria José Olympio, 1972.
- PENNINGTON, Bruce F. Diagnosing learning disorders: a neuropsychological framework. (2nd ed). New York: Guilford Press, 2009.
- NELSON, Charles A. Neurobehavioral development in the context of Biocultural Co-Constructivism. In: P. B. Baltres, P. A. Reuter-Lorentz & F. Rosler. (eds.). **Lifespan Development and The Brain: the perspective of biocultural co-constructivism**. New York: Cambridge, 2006, p. 61-81.
- LI, Shu-Chen. Biocultural Co-construction of lifespan development. In: P. B. Baltres, P. A. Reuter-Lorentz & F. Rosler. (eds.). **Lifespan Development and The Brain: the perspective of biocultural co-constructivism**. New York: Cambridge, 2006, p. 41-57.